

MP10 SPECTROMÉTRIE OPTIQUE

17 novembre 2017

Lalieu Jonathan & Boquet Thomas

Moteur, ça tourne, action
UN CINÉASTE

Commentaire du jury

•

2014,2015,2016 : Quel que soit l'appareil de mesure utilisé, notamment le spectromètre à entrée fibrée interfacé avec l'ordinateur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques d'utilisation, en particulier son pouvoir de résolution, doivent être connus. Dans le cas où un candidat souhaite utiliser un spectromètre qu'il a réalisé lui-même, il est rappelé que la mesure des angles au goniomètre est bien plus précise que le simple pointé avec une règle sur un écran ; en outre s'il souhaite utiliser un réseau en incidence normale, le candidat doit s'assurer de la réalisation expérimentale correcte de cette incidence particulière.

2010-2013 : Le prisme à vision directe doit être réservé aux observations qualitatives. Enfin le pouvoir de résolution des appareils doit être connu et leurs limitations discutées.

Bibliographie

- *Expérience d'optique préparation à l'agrégation de physique*, **Duffait** → expérience du doublet du sodium
- *optique expérimentale*, **Sextant** → influence de la largeur de la fente sur la résolution du spectro + expérience de mesure du doublet du mercure avec Michelson

Expérience

- ☞ Spectre de 2 lumières jaunes
- ☞ Diffraction par un réseau
- ☞ Mesure du doublet du sodium avec un Michelson

Table des matières

1	Spectromètre à fente (cas du réseau)	2
2	Mesure du doublet du sodium avec un Michelson	4
2.1	Une première mesure du doublet par relevé des extinctions	4
2.2	Une deuxième mesure du doublet par acquisition d'un interférogramme	5
3	Conclusion	6

Introduction

Nous allons commencer par expliquer l'intérêt de la spectroscopie. Prenons deux sources qui sont a priori toutes les deux jaunes.



Spectre de 2 lumière jaunes

☞ Tête

⊖ 2 min

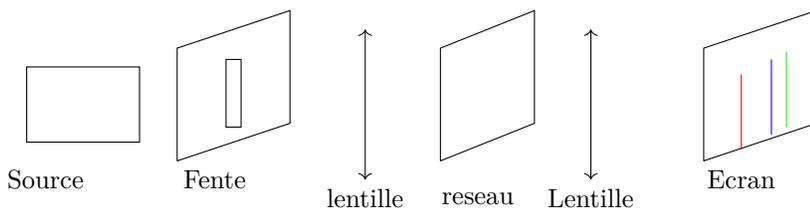
Matériel : Une lampe QI a puissance variable, une lampe jaune, un prisme à vision directe

- On fait traverser de la lumière à travers un prisme à vision directe pour séparer la lumière.
- On observe la présence de raies différentes

On observe donc que la lumière peut présenter une certaine couleur mais être en fait la superposition de plusieurs raies qui sont caractéristiques de sa composition. On utilise cela notamment pour déterminer la composition des étoiles.

↓ On peut en connaissant le spectre des espèces remonter à des compositions ; on va donc essayer de connaître le spectre de la façon la plus précise possible => Spectrométrie.

1 Spectromètre à fente (cas du réseau)



Le principe d'un spectromètre à fente est d'éclairer une fente avec notre source de lumière. On place ensuite la fente dans le plan focal objet d'une lentille pour créer un éclairage parallèle que l'on va dévier avec un milieu dispersif (prisme ou réseau) d'une manière propre à chaque longueur d'onde et enfin faire l'image avec une seconde lentille et placer un écran/capteur dans le plan focal image de cette seconde lentille.

Dans notre cas nous avons utilisé un réseau à $n=1200$ traits/mm. Nous avons ici un phénomène d'interférence à N ondes qui conduit à la formule des réseaux :

$$\frac{1}{n}(\sin(\theta') - \sin(\theta)) = p\lambda \quad (1)$$

On va faire l'étude dans le cas du minimum de déviation (ainsi on ne mesure qu'un seul angle ce qui réduit les incertitudes).



Mesure du minimum de déviation pour plusieurs raies de la lampe Hg + détermination de la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium

☞

⊖ 5 min

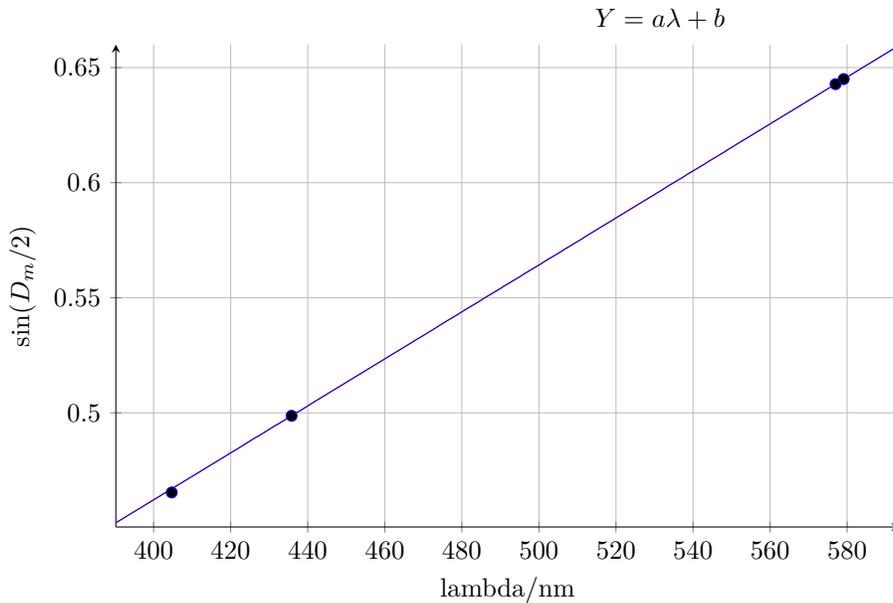
Matériel : Goniomètre, un réseau(1200 t/mm), une lampe spectrale (Hg et sodium)

- On règle la lunette de manière à voir net en $+\infty$
- On éclaire la fente, l'observe avec la lunette puis on règle la distance fente-lentille pour placer la fente dans le plan focal objet (on doit voir distinctement la fente avec la lunette).

- On règle l'oculaire de manière à voir nette le viseur et la raie.
- On cherche ensuite les raies à l'œil nu et on place la lunette.
- On fait ensuite tourner le réseau, tout en visant la raie avec la lentille, jusqu'au changement de sens de variation de la déviation. On repère de façon précise le moment où il y a l'arrêt de la raie.
- Lorsqu'on est placé au minimum de déviation, fermer progressivement la fente pour avoir la plus petite incertitude possible sur l'angle.

Attention : On mesure D_m , il faut penser à diviser par 2 pour obtenir l'angle en sortie.

Modélisation



$$a = (1,020 \pm 0,029)10^{-3} \text{ S.I.}$$

$$b = (54 \pm 16)10^{-3}$$

La pente de notre droite nous permet de remonter au nombre de traits par millimètre :

$$n_{exp} = 1.19^{\pm 0.06} t/mm$$

$$n_{theorique} = 1.2^{\pm} t/mm$$

On retrouve le bon ordre de grandeur pour le pas du réseau.

On va ensuite mesurer la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium.

Pour cela on va mesurer la déviation pour le doublet :

$$D_m/2 = \pm$$

$$\lambda_{m,exp} = \pm$$

$$\lambda_{m,theo} = 0.06 \text{ nm}$$

On définit le pouvoir de résolution : (cf Sextant p.256)

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (2)$$

Dans le cas du réseau on a un pouvoir de résolution intrinsèque : $R_{int} = n \cdot l = 1200 \cdot 34 = 40800$ d'où le $\Delta\lambda = 0.014 \text{ nm}$ pour $\lambda = 589$.

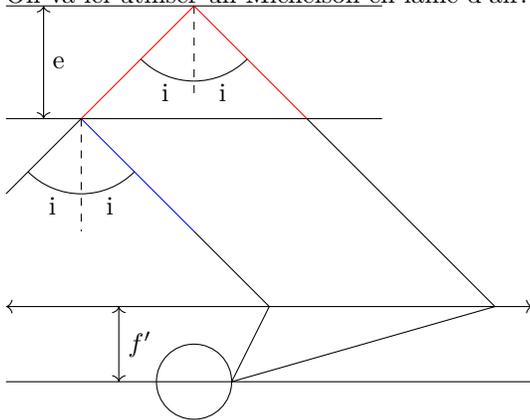
Néanmoins dans notre système la résolution est limitée par le choix de la taille de la fente. En effet un écart $\delta\lambda \rightarrow \delta x = p\delta\lambda \frac{n}{2\cos(\theta)f'}$ sur l'écran. Or la largeur de chaque raie sur l'écran est : $b = \frac{f'}{f}a$ donc si **a** est trop grande il y a recouvrement des raies et si **a** est trop petit on perd trop en intensité il y a donc un compromis à faire.

On pourrait aussi se placer à un ordre d'interférence plus grand mais là encore on a des problèmes de perte d'intensité (solution possible des réseaux blazés...) ou de recouvrement des ordres.

↓
Ce type de système n'est donc pas adapté pour résoudre les doublets trop proches en longueur d'onde on va donc se tourner vers des techniques plus poussées.

2 Mesure du doublet du sodium avec un Michelson

On va ici utiliser un Michelson en lame d'air.



$$\delta = 2e \cos(i)$$

On utilise la formule des interférences à deux ondes pour chacune des deux longueurs d'ondes et on somme les intensités car les sources sont incohérentes :

$$I = I(\lambda) + I(\lambda + \delta\lambda) = 4I_0 \left(1 + \cos\left(2\pi\delta \frac{2\lambda}{\lambda(\lambda + \delta\lambda)}\right)\right) \cos\left(2\pi\delta \frac{\delta\lambda}{\lambda^2}\right) \quad (3)$$

2.1 Une première mesure du doublet par relevé des extinctions

Si l'on regarde l'expression de l'intensité totale on voit que pour certaines valeurs de δ il va y avoir annulation du cosinus de plus grande période spatiale (ce qui correspond au $\delta\lambda$), le contraste va tendre vers 0 et on va observer un éclairage uniforme.



Mesure des extinctions de la figure d'interférence

✎ Sextant, Duffait

⌚ 3-5 min

On va donc se placer à une extinction de la figure et on va charioter de manière à observer plusieurs séries d'extinction.

On a la relation :

$$\delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\delta x} \quad (4)$$

On obtient :

$$\begin{aligned} \delta x &= \pm \\ \delta \lambda &= \pm \end{aligned}$$

2.2 Une deuxième mesure du doublet par acquisition d'un interférogramme



Mesure du doublet du sodium a partir d'un interférogramme

✦ Duffait, Sextant

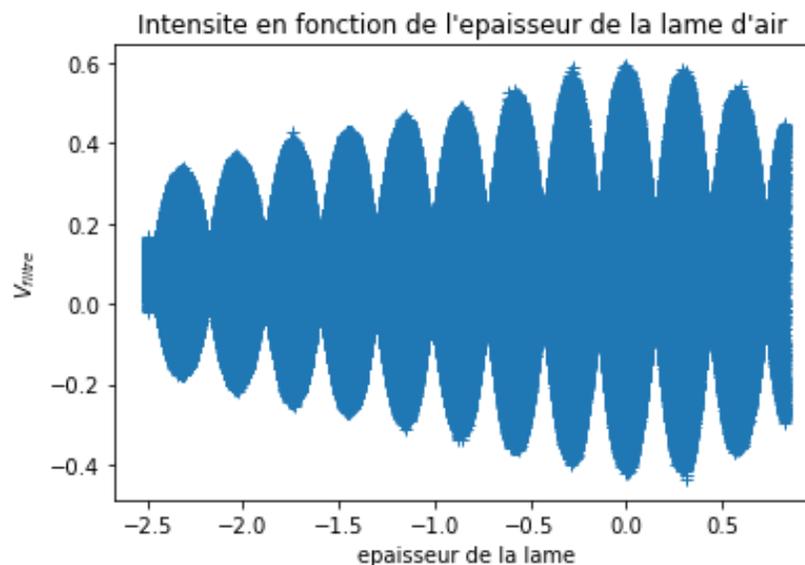
⊖ 120 min

(On ne va présenter que le principe de la mesure et présenter ce qui a été fait en préparation) On va maintenant placer au centre des anneaux une photodiode pour enregistrer l'évolution de l'intensité en fonction de l'épaisseur de la lame d'air. On va maintenant utiliser le moteur pour faire bouger le miroir. Le signal en sortie de la photodiode est filtré à 4 Hz pour enlever le bruit secteur, etc ... (ici notre signal d'intérêt est à 3 Hz ce n'est donc pas un problème) et on acquière avec Latis pro le signal. Pour le nombre de points on prend le maximum de points possible car on va vouloir faire une TF, et la durée de l'acquisition 120 min va permettre d'avoir une dizaine de fuseaux et d'entrevoir la décroissance exponentielle due à la largeur spectrale de la raie.

On a réalisé une acquisition pour des distances entre $x_1 = 13.3^{\pm 0.1} \text{ mm}$ et $x_2 = 9.8^{\pm 0.1} \text{ mm}$ pendant 126 min. Grâce à cela on peut remonter à la vitesse du moteur :

$$\begin{aligned} v_{exp} &= 4.6 * 10^{-4} \text{ mm/s} \\ v_{the} &= 4.6 * 10^{-4} \text{ mm/s} \end{aligned}$$

On obtient l'interférogramme suivant :



On peut observer de façon plus précise la période des oscillations des battements. Puis en regardant à l'intérieur des battements on peut retrouver la valeur de la longueur d'onde moyenne des oscillations.

3 Conclusion

On a présenté deux systèmes de spectrométries : un premier va permettre de connaître le spectre de manière globale, mais on n'a pas assez de précision pour discriminer les doublets trop rapprochés. On peut avoir d'autres méthodes pour déterminer de façon précise le doublet mais on ne pourra pas avoir de vision globale du spectre et de plus ces techniques sont souvent plus difficiles à mettre en place mais son plus riches en information.